Солнечно-земная физика. Вып. 21 (2012) С. 10–17

УДК 551.510.41, 551.525.2

ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ И ЕГО АНТРОПОГЕННОЕ УСИЛЕНИЕ

[1, 2]С.М. Семенов

GREENHOUSE EFFECT AND ITS ANTHROPOGENIC ENHANCEMENT

[1, 2]S.M. Semenov

Кратко представляются возможные факторы изменения глобального климата, обсуждаются многофакторность этого явления и роль антропогенной составляющей. На основе современных спектроскопических данных количественно характеризуется увеличение температуры в приповерхностном слое, которое связано с увеличением содержания в атмосфере Земли углекислого газа, метана, закиси азота и водяного пара.

Possible factors of the global climate change are briefly presented. Its multifactor nature and a role of anthropogenic factor are discussed. On the basis of the up-to-date spectroscopic data, an increase in surface temperature caused by enrichment of the Earth's atmosphere with carbon dioxide, methane, nitrous oxide and water vapor is quantified.

В последние десять – пятнадцать лет в климатологической литературе и публикациях более общего характера оживилась полемика по проблеме изменения глобального климата, в особенности глобального потепления последней трети XX в. Первопричиной этого оживления стали меры, принимаемые мировым сообществом для ограничения антропогенных эмиссий парниковых газов в атмосферу, и весьма разное отношение к их обоснованности и эффективности, которое существует и среди специалистов, и в обществе в целом. В частности, звучат мнения «отрицателей» о том, что потепления климата вследствие усиления парникового эффекта из-за антропогенного обогащения атмосферы парниковыми газами вовсе не существует или же оно является несущественным в сравнении с эффектами других, естественных факторов изменения климата. Дискуссия ведется в основном на качественном уровне, в терминах корреляций разных наблюдаемых событий или же исторических аналогий, а физическая теория парникового эффекта практически не используется.

В связи с этим мы считаем полезным привести в этой работе наиболее типичные аргументы «отрицателей» и дать комментарии, которые, быть может, поспособствуют разрешению недоразумений. Дальнейший текст разделен на разделы, в каждом из которых обсуждается один из таких аргументов, сформулированный в начале раздела; он выделен жирным курсивом.

1. *Эффект увеличения содержания в атмосфере «антропогенных» парниковых газов (т. е. тех, которые в существенных объемах эмитируются в ходе хозяйственной деятельности:* CO_2, CH_4, N_2O *и т. д.) пренебрежимо мал, поскольку парниковый эффект, вызванный «главным» естественным парниковым газом – водяным паром* H_2O, *– и так является максимальным. Поэтому дальнейшее увеличение концентрации водяного пара и/или других парниковых газов не приведет к заметному росту глобальной температуры в приповерхностном слое.*

Основы физической теории парникового эффекта были заложены в трудах Фурье (1824, 1827), Тиндалла (1863, 1872), Аррениуса (1896), Фридмана (1913).

Напомним, как возникает парниковый эффект на следующем простейшем модельном примере горизонтально-однородной атмосферы (рис. 1). В этой модели солнечное излучение, распространяясь в земной атмосфере вертикально, совершенно не поглощается и не рассеивается атмосферой и полностью поглощается земной поверхностью. Инфракрасное излучение земной поверхности и горизонтальных атмосферных слоев распространяется вертикально. M_0 – масса атмосферы над элементом земной поверхности единичной площади. Поглощение инфракрасного излучения слоем массы dM (над такой площадкой) пропорционально этой величине. Если обозначить поток солнечного излучения через S_0, а восходящий и нисходящий потоки инфракрасного излучения через $J^{\uparrow}(M)$ и $J^{\downarrow}(M)$, где M – масса воздуха в столбе от земной поверхности до той высоты, на которой рассматриваются потоки, то можно составить следующую систему уравнений для состояния равновесия:

$$\frac{dJ^{\uparrow}(M)}{dM} = -w(M)J^{\uparrow}(M) + $$
$$+0.5w(M)(J^{\downarrow}(M) + J^{\uparrow}(M)),$$

$$\frac{dJ^{\downarrow}(M)}{d(-M)} = -w(M)J^{\downarrow}(M) + $$
$$+0.5w(M)(J^{\downarrow}(M) + J^{\uparrow}(M)),$$

где w – коэффициент поглощения. Первые члены в правых частях характеризуют ослабление соответствующих потоков за счет поглощения, а вторые – излучение поглощенной лучистой энергии вверх и вниз в равных долях. При этом $S_0 + J^{\downarrow}(M) = J^{\uparrow}(M)$ – выполняется условие равновесия потоков лучистой энергии на любой заданной высоте и $J^{\downarrow}(M_0) = 0$ – инфракрасное излучение не приходит от Солнца. Эта система уравнений имеет следующие решения:

$$J^{\uparrow}(M) = S_0(1 + 0.5\int_M^{M_0} w(x)dx);$$

$$J^{\downarrow}(M) = 0.5S_0\int_M^{M_0} w(x)dx.$$

Если для дальнейшего упрощения предположить, что коэффициент поглощения линейно возрастает с повышением концентрации c некого обобщенного парникового газа в атмосфере:

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

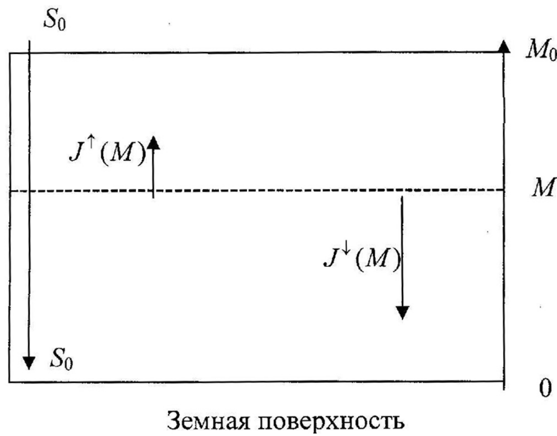


Рис. 1. Схема радиационных потоков в иллюстративной радиационной модели.

$w=w_0c$,

где w_0 – константа, то решения принимают следующий вид:

$$J^{\uparrow}(M) = S_0(1+0.5w_0c(M_0-M));$$

$$J^{\downarrow}(M) = 0.5S_0w_0c(M_0-M).$$

На рис. 2 схематически изображены эти решения. Заметим, что восходящий поток инфракрасного излучения на верхней границе атмосферы не меняется при росте *c*. В состоянии равновесия он обязан всегда уравновешивать поток солнечного излучения S_0, поступающий на верхнюю границу атмосферы. Однако восходящий поток инфракрасного излучения на уровне земной поверхности растет с увеличением *c*, а вместе с ним и температура T_0:

$$J^{\uparrow}(0) = S_0(1+0.5w_0cM_0),$$
$$T_0 = (J^{\uparrow}(0)/\sigma)^{1/4},$$

где σ – постоянная Стефана. Это и есть парниковый эффект в этой упрощенной схеме.

Такая упрощенная модель пригодна лишь для объяснения сути явления, а не для количественных оценок. Чтобы оценить количественно парниковый эффект для реальной атмосферы (или для близкой к реальности) и его изменение при изменении ее состава, необходимо учитывать совокупность радиационно-активных газов. Кроме того, необходимо более детально охарактеризовать спектральный состав излучения (а не только рассматривать два типа – солнечное и инфракрасное), поскольку свойства поглощения/излучения сильно зависят от длины волны. И наконец, способность атмосферных слоев к поглощению/излучению должна оцениваться на основе реальных данных о составе атмосферы и сечениях поглощения молекул газов (традиционное название коэффициентов поглощения). Лишь результаты именно такого прямого расчета могут служить серьезными аргументами в дискуссии о том, велики ли парниковые свойства реальной земной атмосферы и существует ли потенциал для дальнейшего усиления парникового эффекта. Такие вычисления были нами проведены и опубликованы в работе [Семенов, Попов, 2011].

Для расчетов была использована модель атмосферы, основанная на следующих допущениях:

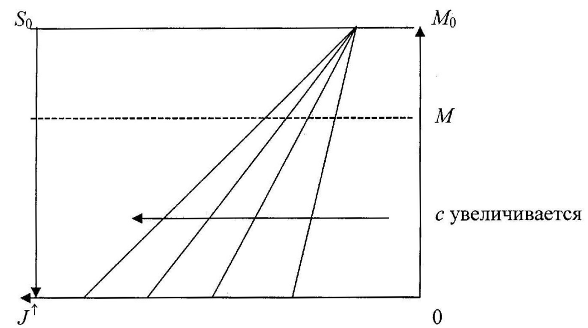


Рис. 2. Изменение восходящего потока инфракрасного излучения $J^{\uparrow}$ в зависимости от высоты (по переменной *M*) и концентрации парникового газа (по переменной *c*).

1. Горизонтально-однородная атмосфера: 10 000 горизонтальных слоев одинаковой массы над 1 м^2 земной поверхности.

2. Состав горизонтальных атмосферных слоев соответствует стандартной атмосфере (US Standard Atmosphere); характеризует ситуацию примерно 1970-х гг.

3. Энергия передается только излучением вверх или вниз.

4. Каждый горизонтальный слой в системе «атмосфера+земная поверхность» находится в состоянии равновесия: сколько поглощает лучистой энергии, столько и излучает.

5. Потоки лучистой энергии в модели представлены излучением в 410 спектральных интервалах. Границы первых тринадцати из них (в мкм): 0.1975–0.2075; 0.2075–0.2175; 0.2175–0.2275; 0.2275–0.2375; 0.2375–0.2475; 0.2475–0.2575; 0.2575–0.2675; 0.2675–0.2775; 0.2775–0.2875; 0.2875–0.2975; 0.2975–0.3125; 0.3125–0.45; 0.45–0.75. Остальные 397 имеют одинаковую ширину 0.25 мкм: от 0.75–1.0 до 99.75–100.0 мкм.

6. Учтенные в модели радиационно-активные газы: O_2, H_2O, CO_2, CH_4, N_2O, O_3, NO_2.

7. Значения коэффициентов (сечений) поглощения, см^2/молекула:

– для первых тринадцати спектральных интервалов взяты из работы [Андронова и др., 1986];

– для остальных 397 спектральных интервалов оценивались с использованием спектроскопической базы данных HITRAN (High-Resolution Transmission Molecular Absorption Database) в версии 2008 г. Ее структура описана в [The HITRAN molecular spectroscopic database…, 1998], а использованные нами данные 2008 г. были взяты с ресурса [http://www.spectralcalc.com/].

Расчетный алгоритм имитировал реальный процесс становления равновесия по излучению; временной шаг – 150 с; полное время расчета соответствовало примерно 0.5 года (109 700 итераций).

В результате вычислений были, в частности, получены оценки, сведенные в таблицу. Во втором столбце приведены исходные концентрации парниковых газов (соответствуют примерно 1970-м гг.); в третьем столбце – полученное значение чувствительности, т. е. $\Delta T_0/\Delta c$, вычисленное для этой исходной точки; в четвертом – приращение температуры при десятикратном увеличении базовой концентрации.

Базовые концентрации (c^*), чувствительность радиационно-равновесной температуры земной поверхности к увеличению содержания парниковых газов и прирост ΔT_0 радиационно-равновесной температуры T_0 при переходе от c^* к $c^*\times10$

Газ	c^*, ppm	$\Delta T_0/\Delta c$ (K/ppm)	ΔT_0 при переходе от c^* к ($c^*\times10$), K
H_2O (водяной пар)	7750	0.001	–
CO_2	330	0.006–0.007	7.9
CH_4	1.7	0.08–0.09	0.8
N_2O	0.32	0.7–0.9	1.3

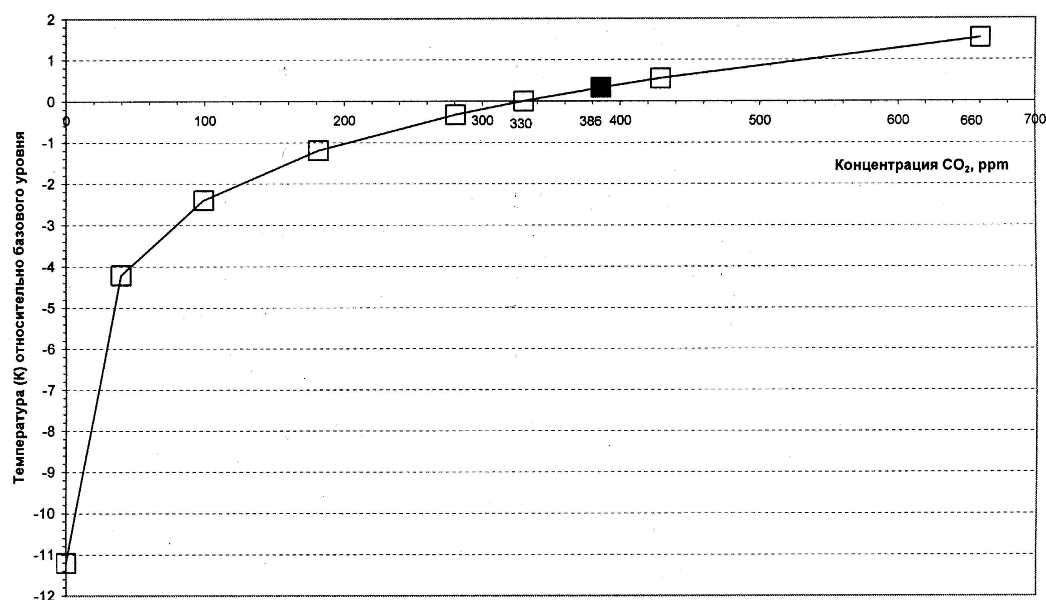


Рис. 3. Изменение радиационно-равновесной температуры в приповерхностном слое относительно базового уровня в зависимости от концентрации CO_2 (результаты экспериментов с расчетной моделью).

Чтобы более полно охарактеризовать изменение радиационно-равновесной температуры при изменении концентрации CO_2, приведем рис. 3. Как видно на рисунке, полному изъятию углекислого газа из атмосферы при сохранении базовых значений концентраций остальных газов соответствует уменьшение температуры более чем на 11 K. Увеличению концентрации CO_2 от уровня 1970-х гг. (примерно 330 ppm) до современного уровня (386 ppm) соответствует увеличение температуры на ≈0.3 K. Хотя каждое дальнейшее одинаковое увеличение концентрации CO_2 приводит ко все меньшему подъему температуры, это увеличение все же остается заметным. Например, оно составляет примерно 1 K при увеличения современной концентрации до 660 ppm.

Из полученных в работе [Семенов, Попов, 2011] количественных оценок сделаны следующие выводы:

– в формировании базового естественного парникового эффекта основную роль играют водяной пар H_2O и углекислый газ CO_2;

– рост концентрации углекислого газа – главная причина антропогенного усиления парникового эффекта; метан и закись азота имеют меньшее значение;

– потенциал CO_2, CH_4 и N_2O в отношении усиления парникового эффекта был значительным и остается заметным;

– дальнейший рост концентрации CO_2 будет иметь все меньшее значение в аспекте усиления парникового эффекта; в отношении метана и закиси азота это замедление пока не существенно; в отношении водяного пара такое замедление проявляется в большей степени, чем для CO_2.

К этому можно добавить, что нерадиационные механизмы оттока тепла с земной поверхности в атмосферу и переноса тепла в атмосфере (конвекция, скрытое тепло), по-видимому, будут играть смягчающую, демпфирующую роль: равновесные значения температуры будут меньше и их изменения в ответ на заданное изменение состава атмосферы будут меньше.

2. ***Увеличение концентрации CO_2 в атмосфере в XX – начале XXI в. было монотонным, т. е. спадов практически не было. А среднегодовая среднеглобальная температура в приповерхностном слое росла немонотонно: при общей тенденции к увеличению были и периоды заметного спада. Поэтому современное потепление не связано с ростом концентрации CO_2, а следовательно, и с хозяйственной деятельностью человека.***

На рис. 4 приведены данные с ресурса [http://cdiac.ornl.gov], характеризующие среднегодовую концентрацию CO_2 (ppm) на станции Мауна-Лоа (Гавайи) в 1965–2008 гг. Видно, что концентрация монотонно растет (несмотря на принятие в 1997 г. Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата; этому году на графике соответствует белый

треугольник). Однако среднегодовая среднеглобальная температура в приповерхностном слое, оцененная по данным инструментальных измерений на сети станций мониторинга, ведет себя в этот период времени несколько иначе (см. рис. 5). В 1965–1975 гг. тенденция к росту не наблюдалась. Затем до конца XX в. наблюдался рост температуры, а в самом конце XX и в начале XXI в. опять возникла некоторая «заминка» – тенденция к росту опять не прослеживается. (Заметим, что приведенные на рис. 5 средние значения температуры за предыдущие 11 лет, включая текущий год, пока не убывают (сплошная жирная линия).) А ведь концентрация CO_2 продолжает заметно расти! Это сопоставление и явное отсутствие корреляции между концентрацией CO_2 и температурой на этом и нескольких других интервалах времени дали повод некоторым специалистам отрицать парниковые свойства этого газа и в целом его роль в потеплении климата.

Это заключение неправомерно, поскольку процесс изменения климата является многофакторным, что принципиально для подобного анализа. Современные изменения глобального климата Δ во времени (t) складываются из двух компонентов – естественного (Δ_N) и антропогенного Δ_A (выраженного суммой в квадратных скобках):

$$\Delta(t)=\Delta_N(t)+[\Delta_{A\ albedo}(t)+\Delta_{A\ GHG}(t)].$$

Антропогенное изменение может быть связано с изменением альбедо земной поверхности или же атмосферы ($\Delta_{A\ albedo}$), а также с изменением содержания парниковых газов (GHG, greenhouse gases) в атмосфере ($\Delta_{A\ GHG}$).

Антропогенное изменение альбедо может происходить:

– в ходе изменения землепользования, например, из-за преобразования лесных ландшафтов в агроландшафты или в урбанизированные ландшафты;

– вследствие антропогенных аэрозольных выбросов в атмосферу, а также осаждения аэрозолей на земную поверхность (на снег, лед).

Увеличение альбедо будет вызывать охлаждение приповерхностного слоя.

Как уже говорилось, антропогенное изменение содержания парниковых газов в атмосфере происходит вследствие их эмиссии в ходе хозяйственной деятельности. Кроме прямой эмиссии, такое изменение может быть вызвано эмиссией предшественников. Например, сам озон практически не поступает в атмосферу по антропогенным причинам, но поступают его химические предшественники – оксиды азота и летучие органические соединения. Возможны также косвенные физические эффекты. Так, на содержание водяного пара человек напрямую, через эмиссию, не может оказать существенного воздействия – его и так очень много в атмосфере (~1 %). Однако вследствие потепления, вызываемого другими парниковыми газами, содержание которых заметно меняется из-за антропогенных выбросов, испарение с земной поверхности может существенно меняться, что будет приводить к изменению содержания водяного пара в атмосфере.

Естественное изменение (Δ_N) складывается из множества компонентов. В наблюдаемых изменениях климата присутствуют «ненаправленные», циклические составляющие, обладающие специфическими характерными временами и амплитудами. Среди факторов, вызывающих такие циклические изменения, хорошо известны два:

– одиннадцатилетние колебания светимости Солнца (циклически меняется солнечная постоянная);

– изменения параметров земной орбиты с характерными временами порядка 10^4 лет и более; они вызывают циклическое перераспределение потока солнечного излучения, приходящего на верхнюю границу атмосферы, в пространстве (в частности, по широте).

К сожалению, естественные факторы, вызывающие изменения земного климата с характерными временами от нескольких десятков до сотен и тысяч лет, пока изучены недостаточно, хотя их наличие признается все более широким кругом специалистов. Так, например, было бы очень важно получить убедительное объяснение колебаний климата с характерным временем примерно 60 лет, которые особенно четко проявляются в высоких широтах Северного полушария, в Арктике [Фролов и др., 2008]. Однако согласия в этом вопросе среди климатологов пока не достигнуто.

Наложение процесса нарастания среднеглобальной температуры вследствие увеличения содержания парниковых газов в атмосфере в последние 100–150 лет и циклических естественных изменений климата, вызванных естественными факторами, приводит к тому, что рост температуры не является монотонным. При общей тенденции к повышению температуры в масштабах сотен лет на меньших интервалах времени возможны стабилизация температуры и даже ее временное уменьшение. Для иллюстрации на рис. 6 изображены графики трех кривых:

$$T=0.5\cos(2\pi t/30)+0.02t;$$

$$T=0.1\cos(2\pi t/30)+0.02t;$$

$$T=0.005\cos(2\pi t/30)+0.02t.$$

Они имитируют линейный рост температуры T со временем t со скоростью 0.02 градуса в год, совмещенный с синусоидальными колебаниями с периодом 30 лет и амплитудами 0.5; 0.1; 0.005 °C. Заметим, что при малой амплитуде колебаний 0.005 °C мы наблюдаем практически линейный рост температуры со временем. При увеличении амплитуды до 0.02 °C периоды роста перемежаются периодами стабилизации. А при большой амплитуде колебаний 0.5 °C периоды роста температуры сменяются периодами ее временного спада. Все это никак не отменяет общей вековой тенденции к возрастанию температуры со временем. Возможно, именно такой эффект наблюдается в отношении роста глобальной температуры в последнее десятилетие (см. рис. 5).

В разделе 1 было показано, что эффект роста концентрации CO_2 в последней трети XX в. может приводить к увеличению температуры на несколько десятых °C. Вклад от увеличения концентраций других

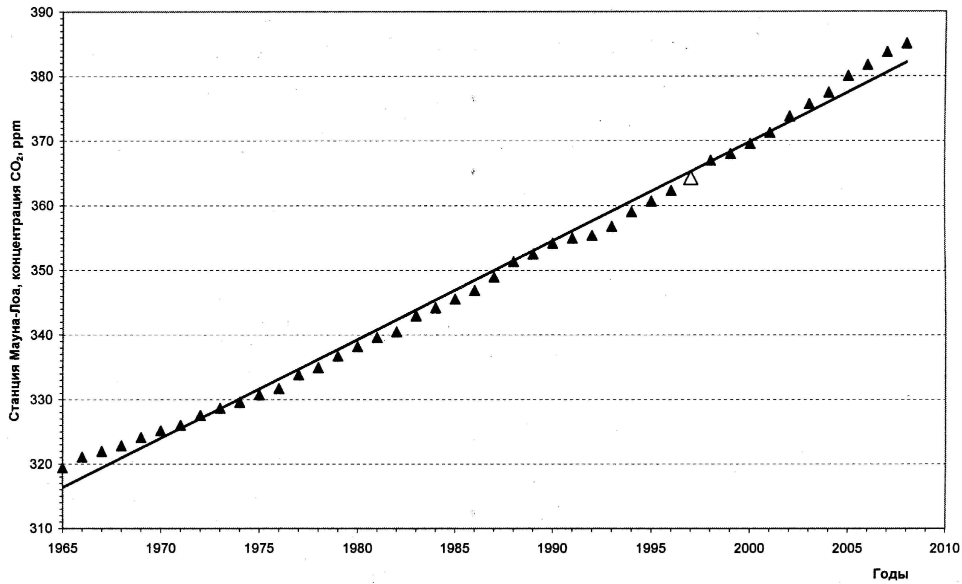


Рис. 4. Концентрация CO_2 (ppm) в приповерхностном слое атмосферы по данным измерений на ст. Мауна-Лоа [http://cdiac.ornl.gov]; белый треугольник соответствует 1997 г. – году подписания Киотского протокола.

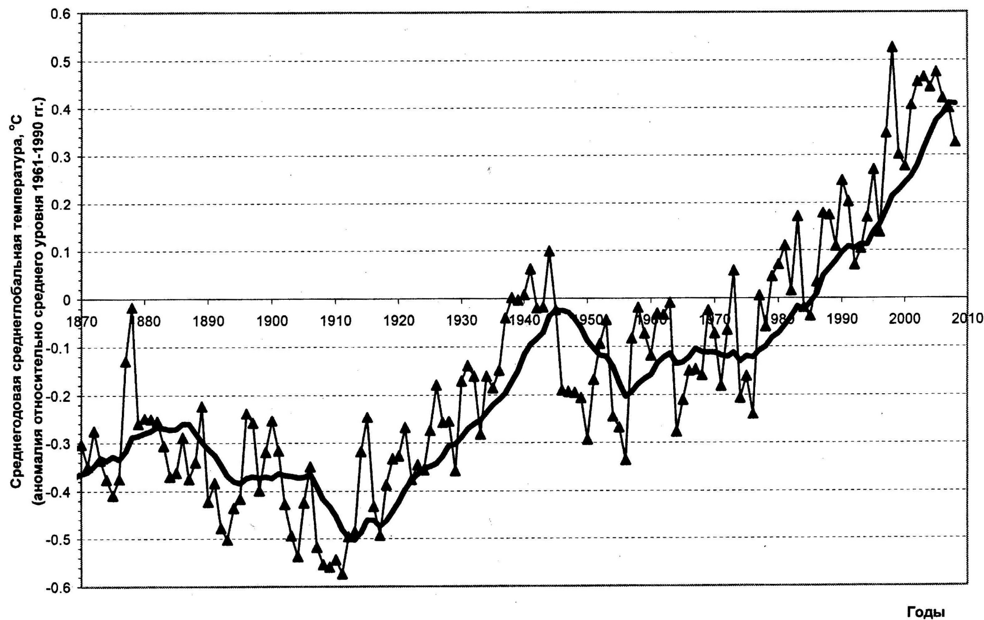


Рис. 5. Среднеглобальная температура, °С (аномалия по отношению к среднему уровню 1961–1990 гг.): средние за год (треугольники, соединенные обычной сплошной линией) и за 11-летний период, заканчивающийся этим годом (сплошная жирная линия), по данным работы [Jones et al., 2009].

парниковых газов, эмитируемых в ходе хозяйственной деятельности (метан, закись азота и др.), тоже оценивался. Он меньше, чем от CO_2, но также заметен. Сейчас следует с не меньшей определенностью охарактеризовать вклады естественных факторов, которые вызывают циклическую изменчивость климата в масштабах десятилетий – столетий, в том числе факторов солнечно-земного взаимодействия и космических факторов.

3. ***Антропогенные эмиссии CO_2 не играют существенной роли в формировании уровня содержания углекислого газа в атмосфере, поскольку CO_2 достаточно хорошо растворим в океанской воде. Дополнительно поступающий в атмосферу «антропогенный» углекислый газ будет практически весь поглощен океаном. Ведь содержание способного к переходу в атмосферу углерода в Мировом океане примерно в 50 раз больше, чем количество углерода в атмосферном CO_2. Роль антропогенных выбросов углекислого газа в изменении его содержания в атмосфере преувеличена. Наблюдаемые изменения – это проявления в большей степени естественной изменчивости, в основном связанной с океаном, который выделяет в атмосферу гораздо больше углекислого газа, чем все мировое хозяйство.***

На рис. 7 представлены запасы углерода в природных резервуарах в Гт(С) и потоки между ними в Гт(С) год$^{-1}$ [Land Use …, 2000]. Эти числа характеризуют средние значения за период 1989–1998 гг.

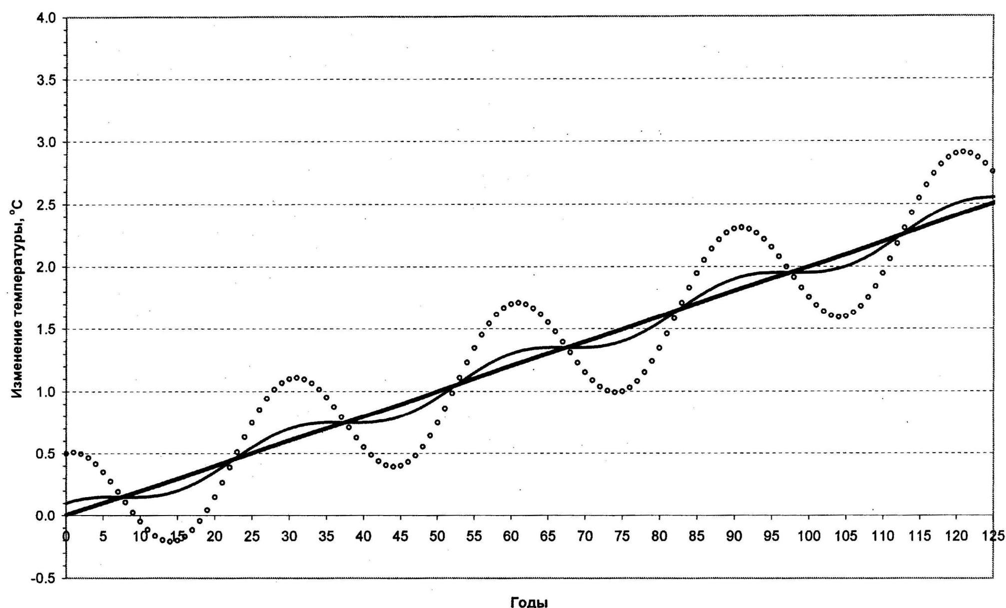


Рис. 6. Эффект наложения линейного роста температуры со скоростью 0.02 °С/год и циклических колебаний разной амплитуды: 0.005 °С – жирная прямая; 0.1 °С – сплошная кривая; 0.5 °С – полые круги.

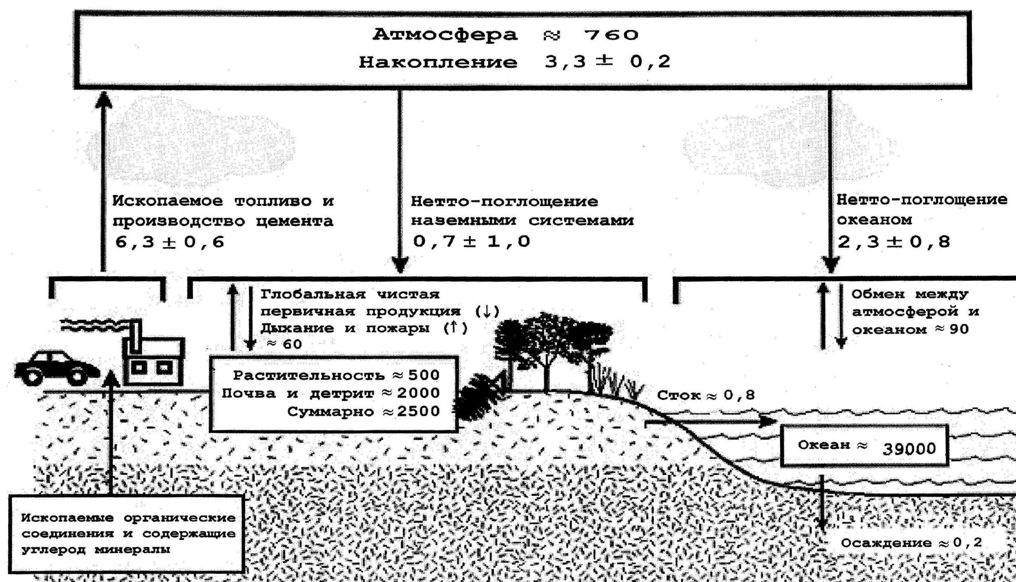


Рис. 7. Глобальные запасы углерода в природных резервуарах в Гт(С) и потоки между ними в Гт(С) год$^{-1}$ [Land Use …, 2000]: средние значения за период 1989–1998 гг.; оценки базируются на работе [Schimel et al., 1996].

Оценки базируются на работе [Schimel et al., 1996] и, таким образом, на определенной процедуре учета временных трендов. В прямоугольниках приведено содержание углерода в соответствующих резервуарах, а стрелки указывают на потоки углерода.

Указанный на рис. 7 уровень обмена углеродом между атмосферой и океаном – 90 Гт(С) год$^{-1}$ – лишь приближенная характеристика потоков, данная с целью показать степень их сбалансированности. На самом деле есть некоторый дисбаланс: поток из атмосферы в океан равен ~90 Гт(С) год$^{-1}$, а обратный поток – ~88 Гт(С) год$^{-1}$. Обратим внимание также на то, что нетто-поток из атмосферы в наземные системы весьма неопределенный, а именно 0.7±1.0 Гт(С) год$^{-1}$. По этой оценке нельзя даже судить о том, являются ли наземные системы нетто-источниками или же нетто-стоками углерода. К настоящему моменту в понимании этого вопроса произошли некоторые сдвиги, чего мы в этой статье касаться не будем.

Поток, описывающий выведение углерода из океана в отложения, намного меньше остальных приведенных потоков. Он существен при анализе исторической эволюции запасов углерода в различных природных резервуарах и потоков между ними, но на временном отрезке в несколько сотен лет его можно не рассматривать, поскольку этот процесс не способен заметно изменить содержание углерода в океане – 39 000 Гт(С).

Заметим, что на рис. 7 единственный антропогенный поток CO_2 в атмосферу – (6.3±0.6) Гт(С) год$^{-1}$ – связан со сжиганием ископаемого топлива и производством цемента. На рисунке не приведен поток

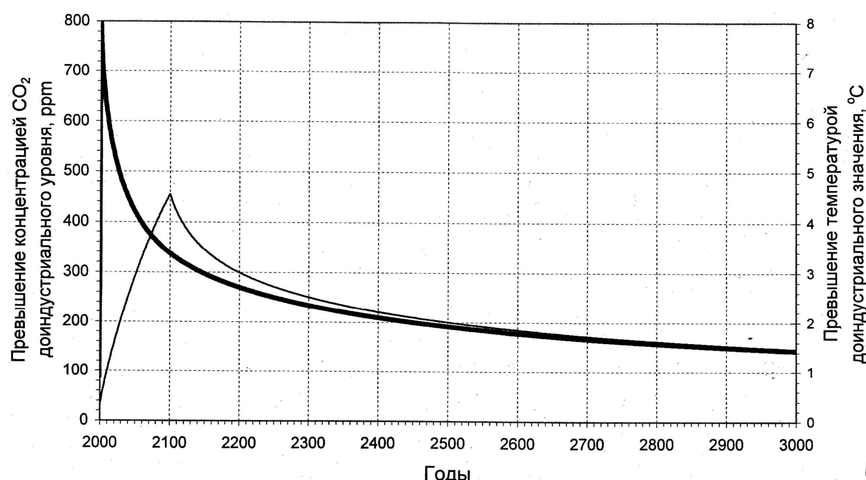


Рис. 8. Изменения концентрации CO_2 в атмосфере (ppm, жирная линия) и среднегодовой среднеглобальной температуры в приповерхностном слое (°C, тонкая линия) по сравнению с доиндустриальным значением при теоретическом сценарии – единовременном выбросе в атмосферу в начале 2000 г. количества диоксида углерода, образующегося при сжигании всех разведанных запасов нефти, газа и угля, и полном прекращении эмиссий, связанных с изменением типа и способов землепользования и производством цемента [Семенов, 2004].

углерода с земной поверхности в атмосферу, связанный землепользованием, изменением землепользования и лесным хозяйством. Однако он существенно меньше приведенного «промышленного».

Поток, связанный с антропогенным изъятием CO_2 из атмосферы за счет специальных «киотских» проектов (целевое создание лесонасаждений и т. д.), пока весьма скромный. Поэтому приведенная выше цифра (6.3±0.6) Гт(С) год$^{-1}$ практически является оценкой антропогенного нетто-потока. Заметим, что этот поток примерно в три раза превышает нетто-поток CO_2 из атмосферы в океан. Таким образом, утверждение о том, что вклад океана в изменение содержания CO_2 в атмосфере существенно больше вклада антропогенных эмиссий, неправомерно. Эта иллюзия возникает, если сравнивать антропогенный нетто-поток с брутто-потоком углерода из океана в атмосферу (~88 Гт(С) год$^{-1}$), что методически неверно.

Что касается почти полного поглощения океаном дополнительных объемов углекислого газа, эмитируемого мировым хозяйством в атмосферу, то в этом вопросе весьма заметную роль играют природа обмена углеродом между атмосферой и океаном и характерные времена процессов. Если, например, поступившая в атмосферу молекула метана за 10–12 лет «погибает» в атмосферных химических реакциях, то углерод, находящийся в составе молекулы CO_2 в атмосфере, может перейти в океан или в наземные системы за счет процессов поглощения, а затем снова оказаться в атмосфере в результате естественной эмиссии. Это может происходить многократно. Вследствие этого уменьшение массы CO_2, дополнительно поступившей в атмосферу, за счет поглощения океаном может занять значительное время. Приведем следующий пример.

Разведанные мировые запасы нефти и угля оцениваются сейчас в 157 и 1000 Гт (экономически эффективные месторождения); освоенные ресурсы газа к 2001 г. составляли 164 трлн м^3, а разведанные и невскрытые – до 530 трлн м^3 [Путилов, 2003]. Если принять коэффициент 0.7 кг/м^3 для оценки массы газа, то суммарные мировые запасы всех трех видов топлива оцениваются как (157+1000+0.7(164+530))=1642.8 Гт. Будем полагать, что это – чистый углерод, что приведет, естественно, к получению несколько завышенных оценок. Если мгновенно добавить эквивалентное количество CO_2 в атмосферу, когда система, изображенная на рис. 7, находилась в доиндустриальном состоянии, то после достижения нового равновесия (в предположении о линейности процессов перераспределения углерода по представленным там резервуарам) содержание диоксида углерода в атмосфере увеличится всего на 24 Гт(С). Это 4 % от доиндустриального содержания CO_2 в атмосфере (~600 Гт(С)). Таким образом, по отношению к доиндустриальной концентрации диоксида углерода – 280 ppm – увеличение составит 11 ppm, что весьма незначительно и не может дать повода для беспокойства в плане усиления парникового эффекта. Однако процесс поглощения океаном будет происходить довольно медленно, и в течение нескольких столетий концентрация CO_2, а также температура в приповерхностном слое будут значительно превышать доиндустриальные значения (см. рис. 8).

В заключение этого раздела заметим, что некоторые специалисты говорят о том, что даже в существенном превышении доиндустриального уровня CO_2 (и других парниковых газов) ничего негативного быть не может. Ведь в геологическом прошлом Земли наблюдались и уровни CO_2 гораздо выше современных, и гораздо более высокие значения температуры, и никаких природных катастроф это не вызывало. Это справедливо в отношении физического компонента нашей планеты и биосферы. Но человек создал социально-экономическую систему, которая весьма чувствительна к изменению климата. Конечно, ее не было в геологическом прошлом Земли. И утрата,

например, современной береговой инфраструктуры вследствие возможного повышения уровня океана из-за потепления и таяния крупных ледниковых щитов не может рассматриваться как приемлемое последствие изменения глобального климата.

Заключение

Выше были приведены некоторые распространенные суждения, отрицающие возможность существенного усиления парникового эффекта за счет дальнейшего обогащения атмосферы парниковыми газами, существенную роль CO_2 в глобальном потеплении XX – начала XXI в., роль антропогенных эмиссий CO_2 в формировании уровня содержания углекислого газа в атмосфере. Мы надеемся, что приведенные комментарии в достаточной мере показали, что эти суждения основаны на недоразумениях.

Представляется целесообразным оставить попытки объяснения наблюдаемых изменений глобального климата каким-то одним фактором – антропогенным или же естественным – и сосредоточиться на количественной оценке вкладов каждого из существующих факторов. В том числе необходимо разработать физические основы и модельный аппарат для описания влияния факторов, связанных с солнечно-земными взаимодействиями, и космических факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андронова Н.Г., Барабанова В.В., Кароль И.Л. и др. Радиационно-фотохимические модели атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 192 с.

Экология энергетики: Учебное пособие / Под ред. В.Я. Путилова. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 716 с.

Семенов С.М. Парниковые газы и современный климат Земли. М.: Издательский центр «Метеорология и гидрология», 2004. 174 с.

Семенов С.М., Попов И.О. Сравнительные оценки влияния изменения концентрации диоксида углерода, метана, закиси азота и водяного пара на радиационно-равновесную температуру земной поверхности // Метеорология и гидрология. 2011. № 8. С. 34–44.

Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. Шестидесятилетняя цикличность в изменениях климата полярных регионов // Материалы гляциологических исследований. М., 2008. Т. 105. С. 158–165.

Jones P.D., Parker D.E., Osborn T.J., Briffa K.R. Global and hemispheric temperature anomalies – land and marine instrumental records // A Compendium of Data on Global Change / Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge. 2009. doi:10.3334/CDIAC/cli.002.

Land Use, Land-use Change, Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R.T. Watson, I.R. Noble, B. Bolin, et al. Cambridge University Press, 2000. 377 p.

Schimel D., Alves D., Enting I., et al. Radiative forcing of climate change // Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1996. P. 65–131.

The HITRAN molecular spectroscopic database and HAWKS (HITRAN Atmospheric Workstation): 1996 edition // J. Quant. Spectrosc. Radiat. 1998. V. 60, N 5. P. 665–710.

http://www.spectralcalc.com/.

http://cdiac.ornl.gov.

[1]*Институт глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и РАН, Москва, Россия*
[2]*Институт географии РАН, Москва, Россия*